

Л. А. Мальцева, Н. Н. Озерец, В. А. Шарапова, К. Д. Вахонина, А. С. Лысов
УрФУ им. первого Президента России Б.Н. Ельцина,
г. Екатеринбург
ozerets@mail.ru

ВЛИЯНИЕ НАГРУЖЕНИЯ НА ИЗМЕНЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ АУСТЕНИТНОЙ СТАЛИ

В работе изучается влияние деформации осадкой аустенитной стали после различных режимов термической обработки на сопротивление деформации, определяется изменения твердости аустенитной стали при повышении нагрузки в сравнении с мартенситностарееющей и аустенитно-ферритной сталями.

Ключевые слова: аустенит, мартенсит, твердость, сопротивление деформации.

In this paper we study the effect of deformation draft austenitic steel after different heat treatment on the deformation resistance is determined by the change in the hardness of austenitic steel with increasing load in comparison with maraging and austenitic-ferritic steels.

Keywords: austenite, martensite, hardness, resistance to deformation.

Среди коррозионностойких сталей, успешно применяемых в промышленности, особо следует выделить стали аустенитного класса. Надлежащий уровень свойств в таких сталях достигается не только подбором химического состава, но и соответствующей технологической обработкой, включающей операции пластического деформирования (например, волочения) и термической обработки (закалки и старения).

В данной работе исследуется практически безуглеродистая сталь на Fe-Cr-Ni основе дополнительно легированная кобальтом. В результате такого легирования сталь 03X14H11K5M2ЮТ имеет высокую технологичность и пластичность, что обусловлено наличием деформационно-метастабильного аустенита и сильно выраженного трип-эффекта, которые позволяют проводить холодную пластическую деформацию с чрезвычайно высокими степенями обжатия.

Основные эксперименты по изучению влияния пластической деформации на фазовый состав, структуру и свойства безуглеродистой коррозионностойкой метастабильной аустенитной стали 03X14H11K5M2ЮТ были выполнены на проволоке различных диаметров, вследствие предназначения данной стали для производства высокопрочной проволоки [1]. Поскольку данная сталь, характеризующаяся высокой технологичностью, а также высокими механическими свойствами, может иметь и другое назна

чение, то представляло интерес проанализировать другой способ пластического деформирования: призматические образцы, обработанные по различным режимам термической обработки (табл. 1), были подвергнуты деформации осадкой с целью определения сопротивления деформации.

Метод исследования сопротивления деформации – это неразрушающий метод испытаний, который позволил получить функциональную зависимость σ_s (Λ) на образцах без проведения предварительной деформации, пригодной для исследования структурных составляющих металлических материалов без их экстраполирования [2, 3]. Данный метод основан на применении схемы испытания по внедрению индентора в исследуемый материал для определения числа твердости.

Установлено (рис. 1), что исследуемая сталь обладает высоким сопротивлением деформации при всех режимах предварительной термической обработки, причем зависимость сопротивления деформации (σ_s) от относительного обжатия (ε) практически линейная, что позволяет спрогнозировать поведение исследуемой стали при больших обжатиях.

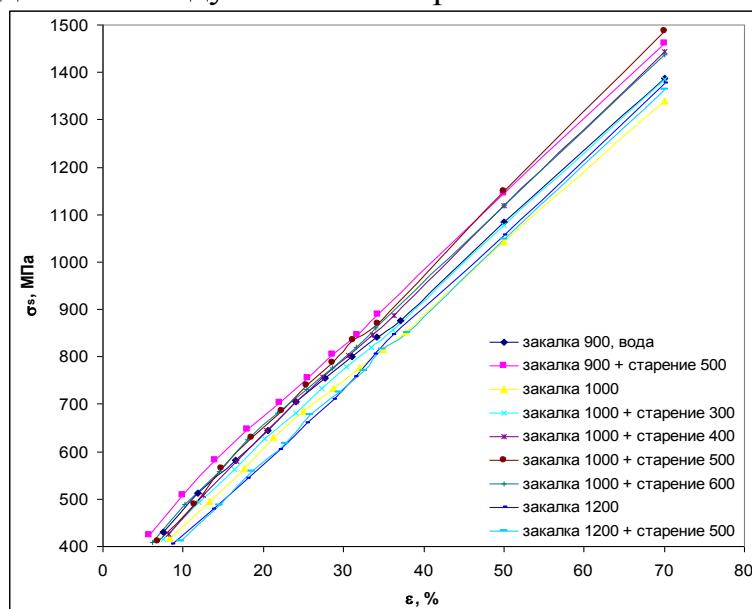


Рис. 1. Зависимость изменения сопротивления деформации от относительного обжатия стали 03X14H11K5M2ЮТ

Наиболее высокое сопротивление деформации имеет сталь после закалки от 1000 °C с последующим старением при 500 °C (1 ч), что связано с изначально более высокими значениями прочности после указанной обработки и с тем, что деформационное упрочнение в предварительно состаренном образце происходит в гетерогенном, а не в гомогенном твердом растворе.

Измерение твердости образцов после различных обработок (табл. 1) показало, что в закаленном состоянии сталь имеет невысокую твердость ~ 140 HV. Старение после закалки приводит к незначительному упрочнению. Деформация закаленных образцов приводит к увеличению твердости

почти в два раза. Аналогично изменяется твердость предварительно закаленных и состаренных образцов. Последующее старение деформированных образцов, обработанных по различным режимам термической обработки, приводит к дополнительному повышению твердости $\Delta HV \sim 100$.

Анализ графиков сопротивления деформации показывает, что на кривых упрочнения для всех режимов предварительной обработки отсутствуют участки насыщения и сохраняется линейность вплоть до относительного обжатия 70 %. Это свидетельствует о том, что возможности упрочнения исследуемой стали механической обработкой огромны.

Таблица 1

Измерение твердости стали 03X14H11K5M2ЮТ
после различных обработок

Режим обработки	HV
Закалка 1000 °С в воду	140
закалка + старение при 500 °С (1 ч)	160
закалка + деформация (осадка) 38 %	280
закалка + старение при 500 °С (1 ч) + деформация 38 %	295
закалка + старение при 500 °С (1 ч) + деформация 38 % + старение при 500 °С (1 ч)	390

Одной из задач исследования было определение изменения твердости аустенитной стали 03X14H11K5M2ЮТ при повышении нагрузки в сравнении с мартенситностареющей и аустенитно-ферритной сталями. Данные диаграммы внедрения (рис. 2) свидетельствуют о том, что аустенитная фаза аустенитной стали 03X14H11K5M2ЮТ и аустенитно-ферритной стали 03X14H10K5M2Ю2Т обладают идентичным сопротивлением материала деформированию, в то время как мартенситная фаза мартенситностареющей стали обладает несколько большей твердостью, чем аустенит. Такое различие в изменении твердости сталей различных структурных классов можно объяснить как более низким содержанием углерода в аустенитной стали, так и вероятностью протекания мартенситного превращения при нагружении (трип-эффект) в метастабильной аустенитной стали. Несколько иначе выглядит кривая зависимости глубины внедрения конуса от нагрузки для δ -феррита аустенитно-ферритной стали. Твердость δ -феррита значительно выше твердости мартенсита и аустенита обеих сталей. Этот факт объясняется присутствием в δ -феррите дисперсных и упорядоченных включений интерметаллидной фазы, которые упрочняют δ -феррит.

По экспериментальным данным твердости были найдены коэффициенты упрочнения фаз (a и b) в формуле, описывающей зависимость напряжения от деформации нагружения: $\sigma = a \cdot \epsilon^b$ и построены кривые упрочнения (рис. 3).

Были определены следующие зависимости для всех фаз и сталей:

- для стали аустенитного класса (03X14H11K5M2ЮТ): $\sigma = 2110 \cdot \varepsilon^{0,345}$, МПа;
- для стали мартенситностареющего класса ЗИ90-ВИ (03X12H8K5M2ЮТ): $\sigma = 3550 \cdot \varepsilon^{0,38}$, МПа;
- для стали аустенитно-ферритного класса (03X14H10K5M2Ю2Т):
аустенит: $\sigma = 2210 \cdot \varepsilon^{0,345}$, МПа; δ -феррит: $\sigma = 6550 \cdot \varepsilon^{0,295}$, МПа,

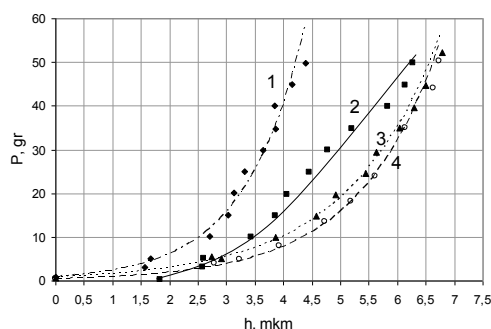


Рис. 2. Диаграмма внедрения конуса в поверхность исследуемых сталей:
1 – δ -феррит аустенитно-ферритной стали;
2 – мартенсит стали ЗИ90; 3 – аустенит аустенитно-ферритной стали; 4 – аустенит стали 03X13H10K5M2ЮТ

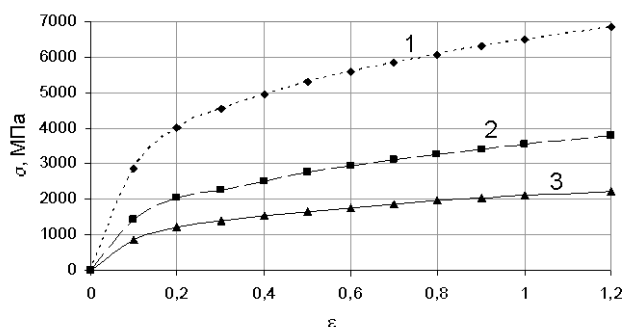


Рис. 3. Кривые упрочнения исследуемых сталей: 1 – δ -феррит аустенитно-ферритной стали; 2 – мартенсит стали ЗИ90; 3 – аустенит аустенитно-ферритной и аустенитной сталей

Проведенное исследование еще раз подтвердило, что аустенит в безуглеродистой коррозионностойкой аустенитной стали обладает низким коэффициентом деформационного упрочнения, что позволяет применять высокие суммарные обжатия без промежуточных смягчающих термических обработок и тем самым сокращать количество операций для изготовления готовой продукции.

Список литературы

1. Роль кобальта в формировании структуры и физико-механических свойств метастабильных аустенитных сталей после различных упруго-пластических деформаций / Л. А. Мальцева, С. М. Задворкин, В. А. Шарапова, Н. Н. Озерец, Т. В. Мальцева, Л. С. Горулева // Деформация и разрушение материалов. 2012. № 5. С. 23–31.
2. Метод определения диаграмм упрочнения отдельных структурных составляющих в многокомпонентных системах / С. В. Смирнов, В. П. Швейкин // ФММ. 1995. Т. 80. Вып. 1. С. 145–151.
3. Определение сопротивления деформации по результатам внедрения конического индентора / С. В. Смирнов, В. К. Смирнов, А. Н. Солошенко, В. П. Швейкин // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением. 2000. № 3. С. 3.